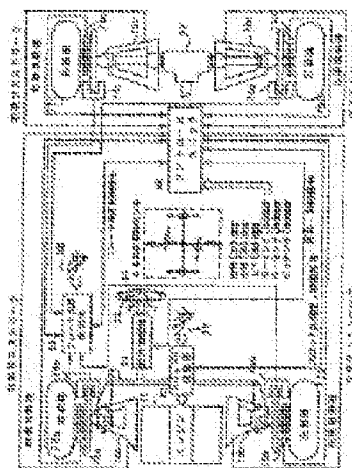


VEHICLE MOTION ESTIMATING DEVICE, METHOD THEREOF AND VEHICLE CONTROL SYSTEM**Publication number:** JP4237637 (A)**Publication date:** 1992-08-26**Inventor(s):** NAKAMURA MITSURU; YAMAKADO MAKOTO +**Applicant(s):** HITACHI LTD +**Classification:**- **international:** **B60K23/00; B60K23/00;** (IPC1-7): B60K23/00- **European:****Application number:** JP19910004242 19910118**Priority number(s):** JP19910004242 19910118**Abstract of JP 4237637 (A)**

PURPOSE:To form a system capable of controlling a vehicle by estimating the ever changing motion information of a vehicle in operation necessary for various kinds of vehicle motion control at real time from the measured value of acceleration sensors.

CONSTITUTION:The motion of a vehicle is estimated on the basis of the information from acceleration detecting means for detecting the longitudinal, lateral and vertical acceleration of a vehicle. The translational acceleration, translational speed, angular acceleration around an optional coordinate axis, angular velocity, and the like at an instrumentation point to an optional coordinate axis, the center-of-gravity point of the vehicle and in an optional position on the vehicle are estimated to enable the high accuracy and high function of a vehicle control system.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-237637

(43) 公開日 平成4年(1992)8月26日

(51) Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 6 0 K 23/00

Z 7140-3D

審査請求 未請求 請求項の数13(全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平3-4242

(22) 出願日 平成3年(1991)1月18日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 中村 満

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 山門 誠

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74) 代理人 弁理士 高田 幸彦

(54) 【発明の名称】 車両の運動推定装置、その方法及び車両の制御システム

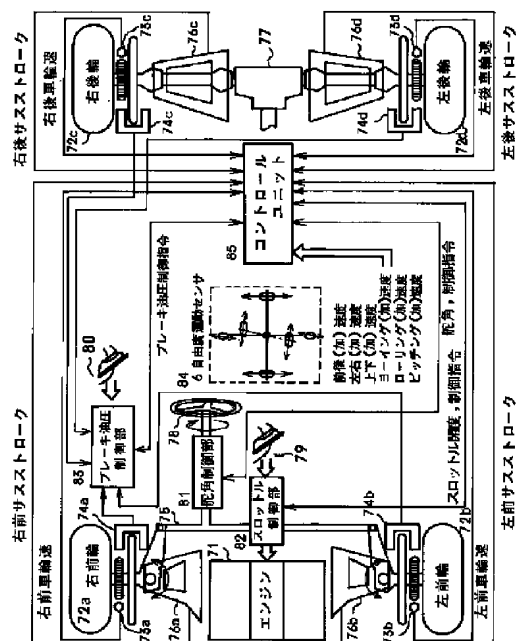
(57) 【要約】

【目的】 各種の車両運動制御に必要な運転中の車両の時々刻々の運動情報を加速度センサ測定値からリアルタイムに推定して車両の制御可能なシステムを構成する。

【構成】 車両の前後、左右、上下の各方向成分の加速度を検出する加速度検出手段からの情報に基づいて車両の運動を推定する。

【効果】 任意の座標軸に対する計測点、車両重心点、車両上の任意の位置での並進加速度、並進速度、任意の座標軸廻りの角加速度、角速度などを推定し、車両の制御システム高精度化、高機能化が可能となる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の運動を推定する車両の運動推定装置において、前記検出手段は前記車両の前後、左右、上下の各方向成分の加速度を求めるための検出手段であることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項2】請求項1記載の車両の運動推定装置において、前記加速度検出手段は前記車両の進行方向の前後方向の軸と、左右の軸と、上下の軸にそれぞれ2個ずつ配置されていることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項3】請求項2記載の車両の運動推定装置において、それぞれの軸に配置された一対の加速度検出手段はそれが位置する軸とは直交する軸方向の加速度を検出する向きに配置されていることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項4】請求項1記載の車両の運動推定装置において、前記加速度検出手段は前記車両の進行方向の前後方向の軸、左右の軸、上下の軸のうち2つの軸に配置され、そのうちの一方には2対の加速度検出手段あるいは2軸の加速度を同時に検出できる多軸検出型の加速度検出手段が設けられていることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項5】請求項1記載の車両の運動推定装置において、前記加速度検出手段は、車両上のある1点を原点とした3次元直交座標を取ったとき、原点を除く各軸上に一対、即ち2個ずつ配置され、その一対の加速度検出手段は、その検出手段が位置する軸の軸方向とは直交する軸方向の加速度を検出できる向きに配置され、かつ、各一対の加速度検出手段の検出軸方向は他の加速度検出手段対に対しても直交する向きに取られていることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項6】請求項1記載の車両の運動推定装置において、前記加速度検出手段は、車両上のある1点を原点とした3次元直交座標を取ったとき、原点を除く3軸のうちの2軸上に配置され、そのうちの1軸上には、加速度検出手段が位置する軸の軸方向とは直交する軸方向の加速度を検出できる向きに取られ、且つ、互いに検出軸方向が直交している2対の加速度検出手段が配置され、もう一方の軸上には、センサが位置する軸の軸方向とは直交する軸方向の加速度を検出できる向きに取られ、且つ、前記2対の加速度検出手段に対してもさらに検出軸方向が直交している1対の加速度検出手段が配置されていることを特徴とする車両の運動推定装置。

【請求項7】車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の運動を推定する車両の運動推定方法において、前記車両の前後、左右、上下の各方向成分の加速度検出し、その検出された加速度から演算により車両の並進加速度、並進速度及び各軸まわりのトルク、角加速度、角速度に関する物理量を推定することを特徴とする車両の運動推定方法。

【請求項8】請求項7記載の車両の運動推定方法において、ある方向成分の角加速度を他の2つの角速度を用いて推定することを特徴とする車両の運動推定方法。

【請求項9】車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の制御をする車両の制御システムにおいて、前記車両の前後、左右、上下の各方向の加速度検出手段と、車輪の回転速度を検出する車輪速度検出手段と、サスペンションの変位から車高を検出する車高検出手段と、車輪の舵角を検出する舵角検出手段と、前記加速度検出手段、前記車輪速度検出手段、前記車高検出手段及び前記舵角検出手段からの検出情報の基づいて車両の制御を行う制御手段とを備えたことを特徴とする車両の制御システム。

【請求項10】請求項9記載の車両の制御システムにおいて、前記加速度検出手段によって得られる加速度から求められる並進速度と前記舵角検出手段から車輪の向きから求められる車両重心及び各車輪の横滑り角を推定する手段を設けたことを特徴とする車両の制御システム。

【請求項11】請求項9記載の車両の制御システムにおいて、前記加速度検出手段によって得られる加速度から求められた並進速度と前記車輪速度検出手段から得られる車輪の進行方向への速度から車輪のスリップ率を推定する手段を設けたことを特徴とする車両の制御システム。

【請求項12】請求項9記載の車両の制御システムにおいて、前記加速度検出手段によって得られる加速度から求められた横方向の並進速度と前記車輪速度検出手段から得られる車輪の進行方向への速度から車両の移動距離及び方向を推定することを特徴とする車両の制御システム。

【請求項13】請求項9記載の車両の制御システムにおいて、予め定められた座標系での車両の質量、慣性モーメント、慣性乗積のデータを記憶する記憶手段を備えたことを特徴とする車両の制御システム。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】本発明は、車両等移動体の時々刻々の運動情報（位置、速度、角速度、加速度、角加速度、力、トルク）を車両上に搭載した複数個の加速度センサの測定値から推定する車両の運動推定装置、その方法、及び車両の制御システムに関する。

【従来の技術】車両の運動は、典型的な運動モデルとして、操舵可能な前方2輪と後方2輪の車輪が剛体とみなせる車体に装着されている場合を考えることができる。

今、図1のごとく車体上にx y z軸を取り、この車両重心点廻りの運動を3次元空間内の剛体運動と見做せば、

(1) x軸方向並進運動－前後動、(2) y軸方向並進運動－左右動、(3) z軸方向並進運動－上下動、(4) x軸廻り回転運動－ローリング、(5) y軸廻り回転運動－ピッチング(6) z軸廻り回転運動－ヨーイング の6自由度の運動に分類することができる。これらの運動は車両の

走行時の諸特性に大きく関係している。例えば、ヨーイングやローリングは旋回時の操縦安定性を決定する重要な要素であり、また、ピッチングや上下動は路面の不整や車両の加速減速によるもので乗り心地に影響する。ところで、近年、アンチロックブレーキやトラクションコントロール、4輪駆動、4輪操舵、さらには、アクティブサスペンションと車両の運動状態に応じて車両特性を任意に制御するアクティブ制御技術が急速に発展してきている。このような制御技術においては、車両の時々刻々の運動、特に、加速度(角加速度)を検出する必要があり、複数の加速度センサが用いられることが多い。そして、その検出方法としては、例えば、実用新案公報平2-30780号では、車両前後方向に2個の加速度センサを取り付け、そのセンサ出力を演算して車両の横方向(左右)加速度、及びヨー角加速度を検出する方法が開示されている。また、これらの車両制御において、特に重要な量として車両重心点及び各車輪の横滑り角や車輪のスリップ率が挙げられる。前者は進行方向と横方向の速度の比から求められる角度であり、車両の操舵特性に影響する。また後者は、実際の車両の速度と車輪の回転速度から求まる速度の差を車両の速度で割った値であり、エンジンの駆動力及びブレーキの制動力が最も効率的に路面に伝達されるための理想的なスリップ率が存在することが知られている。そして、前述のアクティブ制御技術の中には、横滑り角が0に近づくように4輪に伝わる駆動力を最適配分するシステムや、車輪のスリップ率が理想的な値を取るようエンジン出力やブレーキ力を制御するシステムなどが提案されてきている。

【発明が解決しようとする課題】しかし、走行時の車両の運動は、上述の6自由度の運動が同時に連成されて起こるのが一般的であり、運動に対し可観測であるためには少なくとも6個の加速度センサを必要とする。また、センサ自身が加速度運動をしている車両上に固定されているので検出量は加速度座標系で取り扱われなければならない。さらに、センサの検出方向は車両の回転と共に(静止座標系である)路面に対し回転してしまうため、この補正のための座標変換(後述するオイラー角変換)が必要になる。しかしながら、上記従来技術ではこの問題に言及した例はなく、検出の高精度化という点で限界があり、より高度な車両制御技術を実施していく際に問題となっていた。本発明の目的は、時々刻々の車両の挙動を正確に把握することにより高度な車両制御が可能な車両の運動推定装置、その方法及び車両の制御システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明の車両の運動推定装置は車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の運動を推定する車両の運動推定装置において、前記検出手段は前記車両の前後、左右、上下の各方向成分の加速度を求めるための検出手段であることである。また、本発明の車両の

運動推定方法は、車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の運動を推定する車両の運動推定方法において、前記車両の前後、左右、上下の各方向成分の加速度検出し、その検出された加速度から演算により車両の並進加速度、並進速度及び各軸まわりのトルク、角加速度、角速度に関する物理量を推定することである。更に、本発明の車両の制御システムは車両の運動状態を検出する検出手段からの情報に基づいて車両の制御をする車両の制御システムにおいて、前記車両の前後、左右、上下の各方向の加速度検出手段と、車輪の回転速度を検出する車輪速度検出手段と、サスペンションの変位から車高を検出する車高検出手段と、車輪の舵角を検出する舵角検出手段と、前記加速度検出手段、前記車輪速度検出手段、前記車高検出手段及び前記舵角検出手段からの検出情報の基づいて車両の制御を行う制御手段とを備えている。

【作用】車両のバネ上の任意の位置に取り付けた6個の加速度検出手段の出力から演算により、車両の各軸方向(前後、左右、上下)の力、並進加速度、並進速度、及び各軸廻り(ピッチング、ローリング、ヨーイング)のトルク、角加速度、角速度など車両の運動に関する種々の物理量を推定する。また、車輪速センサや舵角センサなど他の車両運動に関わるセンサにより得られたデータとともに時々刻々の車体の挙動を正確に把握することが可能になるのでより高度な車両制御が実現できる。

【実施例】車両に本発明を適用した場合の実施例を図面にに基づき説明する。図1は、本実施例の装置の構成を示す図である。本装置は、エンジン71と、右前輪72aと、左前輪72bと、右後輪72cと、左後輪72dと、各輪車輪速センサ73a、73b、73c、73dと、各輪のブレーキ74a、74b、74c、74dと、ステアリング機構75と、各輪サスペンション機構76a、76b、76c、76dと、コントロールデフ77と、ステアリング78と、アクセルペダル79と、ブレーキペダル80と、舵角制御部81と、スロットル制御部82と、ブレーキ油圧制御部83と、ミッション制御部84と、6自由度運動センサ85と、コントロールユニット86とで構成されている。車輪速センサ73a、73b、73c、73dは、各輪と共に回転する検出歯車と磁気ピックアップとで構成されている。磁気ピックアップは、車輪回転角度に対応したパルス列を出力する。このパルス間隔を計測することにより車輪の各回転角度における車輪速が検出できる。各輪のブレーキ74a、74b、74c、74dは、各輪に制動力をあたえると同時に、作動時のブレーキライン圧のセンサも兼ね備えている。サスペンション機構76aは、ダンパー等(図示せず)にストロークセンサ61a(図示せず)を具備しており、走行時に各輪サスペンション機構のストローク量を検出できる。他のサスペンション機構76b、76c、76dも同等のストロークセンサを具備している。

これにより、車両のロール角、ピッチ角が検出できる。また同時に、タイヤと路面とのキャンバ角の変化、トー変化等のアライメント変化が検出できる。コントロールデフ77は、デファレンシャルギア内に差動制限用の油圧差動湿式多板クラッチを組み込んだものであり、電子制御で左右後輪の最大差動制限トルクが制御できるデファレンシャルギアである。これにより左右後輪の車輪速差、駆動トルクに関わらず、通常の差動制限無しのデファレンシャルギアから左右後輪が直結状態であるロックアップ状態にまで自由に制御できるものである。図2に、舵角制御部81と、スロットル制御部82の動作内容を示す。各制御部は、それぞれステアリング78と、アクセルペダル79と、ブレーキペダル80により運転者の指令を受け付け、運転者舵角、運転者スロットル開度、運転者ブレーキライン圧として検出し、その情報をコントロールユニット85に出力する。また同時にコントロールユニット85から制御指令を受け、それぞれステアリング機構75、エンジン71、各輪ブレーキ74を制御する。ここでコントロールユニット85からの制御指令が無い場合は、運転者の指令が、そのままステアリング機構75、エンジン71、各輪ブレーキ74を制御することになる。図3は、加速度センサのレイアウトに関する発明の第1の実施例を示している。図に示されるように、加速度センサ1～6は、点Sを中心とする互いに直交する取付ステー7～9上に各ステー2個ずつ配置されている。今、xyz座標軸を同図のように取ると、取付ステー7(x軸方向)上の加速度センサ1～2はz軸、取付ステー8(y軸方向)上の加速度センサ3～4はx軸、取付ステー9(z軸方向)上の加速度センサ5～6はy軸、の各方向を検出するようになっている。ここで、加速度センサ1～2、3～4、5～6の検出方向はこれのみという訳ではなく、1～2をy軸、3～4をz軸、5～6をx軸、あるいは各々、反対(負)方向にとっても差し支えなく、4通りの方法がある。次に、図4は、加速度センサのレイアウトに関する発明の第2の実施例を示している。これは、3軸のうち任意の2軸(図ではx軸とy軸)上に加速度センサを配置した場合である。図に示されるように、取付ステー17(x軸方向)にはy軸方向の加速度を検出するセンサ15～16とz軸方向の加速度を検出するセンサ11～12が配置され、取付ステー18(y軸方向)にはx軸方向の加速度を検出するセンサ13～14が配置されてい*

*る。この場合でも、加速度センサの配置方法は幾通りもあり、例えば、y軸とz軸を入れ替えるとか軸の選び方で3通りあり、また、選んだ2軸の役割の入替え、即ちx軸上にy軸方向検出のセンサのみ配置し、y軸上にz軸、x軸方向加速度検出のセンサを配置するなどの選び方で各2通りある。また、図5は図4におけるx軸上の加速度センサ11～12、15～16を、同時に2軸以上の加速度が検出できる多軸検出型のセンサに置き換えた場合である。図では、3軸検出型の加速度センサが用いられているが、このなかで使用されるのはy軸とz軸方向を向いている部分である。また、この場合でも幾通りかの組合わせ方があるのは言うまでもない。また、センサは必ずしも図3から図5に示すように特定の取付けステー上に固定される必要はない。例えば、車両上に仮想的なX、Y、Z座標軸を取り、その座標軸上に加速度センサを上述したような方法で設けても同様な効果が得られる。さて、上述の6個の加速度センサの検出量から車両の運動を推定する方法について述べる。ここで車両は(少なくともサスペンションより上の車体については)剛体であると仮定する。なお、センサレイアウトについては図3、図4、図5、或いはその異なる組合せの場合、などどの場合でも本質的な違いはないので、図3の場合を例に取って説明する。最初に、図6はここで用いられる4種類の座標系を示している。まず、S-x₁x₂x₃はその座標軸上に加速度センサ1～6が存在し、点Sを原点に持つ、センサと共に(従って車両と共に)動く運動座標系である。同様に、G-xyzは車両の重心点Gを原点に持ち、座標軸の方向はS-x₁x₂x₃と変わらない運動座標系である。一方、O-XYZは路面に対し静止し、Z軸の負方向を地球重力方向に持つ基準となる静止座標系である。さらにE-X₁X₂X₃は原点は点Oと同一で軸方向はS-x₁x₂x₃及びG-xyzと同一の(従って並進運動成分は持たず回転運動成分のみ有する)回転座標系である。まず、図7に示すように静止座標系O-XYZから見た運動座標系S-x₁x₂x₃の原点S及びセンサ1～6の位置S₁～S₆までの位置ベクトルをR_s、R₁～R₆、また、SからS₁～S₆までの位置ベクトルをa₁～a₆とする。この時、位置ベクトルの関係、及び位置ベクトルを微分して得られる点S、S₁～S₆の速度ベクトルV_s、V₁～V₆は、次式で表される。

【数1】

$$\begin{aligned} R_1 &= R_s + a_1 & R_2 &= R_s + a_2 & R_3 &= R_s + a_3 \\ R_4 &= R_s + a_4 & R_5 &= R_s + a_5 & R_6 &= R_s + a_6 \end{aligned}$$

【数2】

$$\begin{aligned} V_1 &= V_s + \omega_s \times a_1 & V_2 &= V_s + \omega_s \times a_2 & V_3 &= V_s + \omega_s \times a_3 \\ V_4 &= V_s + \omega_s \times a_4 & V_5 &= V_s + \omega_s \times a_5 & V_6 &= V_s + \omega_s \times a_6 \end{aligned}$$

ここで、 ω_s は車両の、従って静止座標系O-XYZから見た運動座標系S-x₁x₂x₃の持つ角速度ベクトル

7

8

であり、記号 \times は外積を表わしている。さらに $V_1 \sim V_6$ を微分すると、点 S 、 $S_1 \sim S_6$ での加速度 A_s 、 $A_1 \sim A_6$ が次式のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{【数3】 } A_1 &= A_s + A\omega_s \times a_1 + \omega_s \times (\omega_s \times a_1) \\ A_2 &= A_s + A\omega_s \times a_2 + \omega_s \times (\omega_s \times a_2) \\ A_3 &= A_s + A\omega_s \times a_3 + \omega_s \times (\omega_s \times a_3) \\ A_4 &= A_s + A\omega_s \times a_4 + \omega_s \times (\omega_s \times a_4) \\ A_5 &= A_s + A\omega_s \times a_5 + \omega_s \times (\omega_s \times a_5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 - A_2 &= A\omega_s \times (a_1 - a_2) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_1) - \omega_s \times (\omega_s \times a_2)] \\ A_3 - A_4 &= A\omega_s \times (a_3 - a_4) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_3) - \omega_s \times (\omega_s \times a_4)] \\ A_5 - A_6 &= A\omega_s \times (a_5 - a_6) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_5) - \omega_s \times (\omega_s \times a_6)] \end{aligned}$$

一方、 A_1 と a_2 、 A_2 と a_1 、 A_3 と a_4 、 A_4 と a_3 、 A_5

と a_6 、 A_6 と a_5 の外積を取り、同様に對にして辺々差※

$$\begin{aligned} a_2 \times A_1 - a_1 \times A_2 &= -A_s \times (a_1 - a_2) + [a_2 \times (A\omega_s \times a_1) - a_1 \times (A\omega_s \times a_2)] \\ &\quad + [a_2 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_1) - a_1 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_2)] \\ a_4 \times A_3 - a_3 \times A_4 &= -A_s \times (a_3 - a_4) + [a_4 \times (A\omega_s \times a_3) - a_3 \times (A\omega_s \times a_4)] \\ &\quad + [a_4 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_3) - a_3 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_4)] \\ a_6 \times A_5 - a_5 \times A_6 &= -A_s \times (a_5 - a_6) + [a_6 \times (A\omega_s \times a_5) - a_5 \times (A\omega_s \times a_6)] \\ &\quad + [a_6 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_5) - a_5 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_6)] \end{aligned}$$

ここで、座標系 $S-x_1 x_2 x_3$ の各軸方向の単位ベクトルを $e_1(1, 0, 0)$ 、 $e_2(0, 1, 0)$ 、 $e_3(0, 0, 1)$ ととれば、位置ベクトル $a_1 \sim a_6$ の間に次の関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{【数6】 } (a_1 - a_2) &= (l_1 + l_2) e_1 \\ (a_3 - a_4) &= (d_1 + d_2) e_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 - A_2 &= (l_1 + l_2) [A\omega_s \times c_1 - \{(\omega_s \cdot c_1)\omega_s - \omega_s^2 c_1\}] \\ A_3 - A_4 &= (d_1 + d_2) [A\omega_s \times e_2 - \{(\omega_s \cdot e_2)\omega_s - \omega_s^2 e_2\}] \\ A_5 - A_6 &= (h_1 + h_2) [A\omega_s \times e_3 - \{(\omega_s \cdot e_3)\omega_s - \omega_s^2 e_3\}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{【数8】 } e_1 \times (l_2 A_1 + l_1 A_2) &= (l_1 + l_2) e_1 \times A_s \\ e_2 \times (d_2 A_1 + d_1 A_2) &= (d_1 + d_2) e_2 \times A_s \\ e_3 \times (h_2 A_1 + h_1 A_2) &= (h_1 + h_2) e_3 \times A_s \end{aligned}$$

但し、記号 \cdot は内積を表す。ところで、点 $S_1 \sim S_6$ における加速度ベクトル $A_1 \sim A_6$ は、本来、静止座標系 $O-\star$

$$\begin{aligned} A_1 &= A_{11} e_1 + A_{12} e_2 + A_{13} e_3 & A_2 &= A_{21} e_1 + A_{22} e_2 + A_{23} e_3 \\ A_3 &= A_{31} e_1 + A_{32} e_2 + A_{33} e_3 & A_4 &= A_{41} e_1 + A_{42} e_2 + A_{43} e_3 \\ A_5 &= A_{51} e_1 + A_{52} e_2 + A_{53} e_3 & A_6 &= A_{61} e_1 + A_{62} e_2 + A_{63} e_3 \end{aligned}$$

ここで、 A_{12} 、 A_{22} 、 A_{33} 、 A_{43} 、 A_{51} 、 A_{61} が6個の加速度センサによって観測される成分である。また、 A_s 、 $A\omega_s$ の各成分をやはり運動座標系 $S-x_1 x_2 x_3$ の軸方向に平行な成分に分解して表わすと次式の如くとなる。

$$\begin{aligned} \text{【数10】 } A_s &= A_{s1} e_1 + A_{s2} e_2 + A_{s3} e_3 \\ A\omega_s &= A\omega_{s1} e_1 + A\omega_{s2} e_2 + A\omega_{s3} e_3 \end{aligned}$$

従って、

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{l_2 \cdot A_{61} + l_1 \cdot A_{51}}{(h_1 + h_2)} \\ A_{s2} &= \frac{l_2 \cdot A_{12} + l_1 \cdot A_{22}}{(l_1 + l_2)} \\ A_{s3} &= \frac{d_2 \cdot A_{33} + d_1 \cdot A_{43}}{(d_1 + d_2)} \end{aligned}$$

$$\star A_6 = A_s + A\omega_s \times a_6 + \omega_s \times (\omega_s \times a_6)$$

但し、 $A\omega_s$ は車両の角加速度ベクトルである。

【数2】、

【数3】で外積の項が現れるのは、点 $S_1 \sim S_6$ が点 S に對し回転運動を有するためである。ここで、 A_1 と A_2 、 A_3 と A_4 、 A_5 と A_6 を對にして辺々差し引くと次式を得る。

★ 【数4】

※し引くと次式を得る。

【数5】

20★

$$(a_5 - a_6) = (h_1 + h_2) e_3$$

上の関係式とベクトル演算の公式を用いて

【数4】、

【数5】を変形すると次式が成り立つ。

★ 【数7】

☆XYZから見た量であるが、運動座標系 $S-x_1 x_2 x_3$ の軸方向に平行な成分に分解して表わすと次式の如くとなる。

30

【数9】

【数7】～

【数10】より、 S 点での並進加速度ベクトル A_s 、及び角加速度ベクトル $A\omega_s$ の各成分は、 A_{12} と A_{22} より A_{s2} 、 $A\omega_{s2}$ 、 A_{33} と A_{43} より A_{s3} 、 $A\omega_{s3}$ 、及び A_{51} と A_{61} より A_{s1} 、 $A\omega_{s1}$ がそれぞれ得られ、次式で与えられる。

【数11】

9

10

【数12】

$$A\omega_{s1} = \frac{A_{s1} + A_{s1}}{(h_1 + h_2)} - \omega_{s3} \omega_{s2}$$

$$A\omega_{s2} = \frac{A_{s2} + A_{s2}}{(l_1 + l_2)} - \omega_{s1} \omega_{s3}$$

$$A\omega_{s3} = \frac{A_{s3} + A_{s3}}{(d_1 + d_2)} - \omega_{s2} \omega_{s1}$$

ここで、

【数12】では角加速度成分 $A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$ を求めるのに角速度成分 ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3} の値を必要とするが、これは得られた角加速度を時々刻々積分すれば求めることができる。以上より、これで車両上の任意の点Sでの並進加速度ベクトル、及び角加速度ベクトルの運動座標系 $S-x_1x_2x_3$ の各軸に平行な成分が定まったことになる。一般に、剛体の回転成分（角速度、角加速度）は剛体上のどの点でも等しいので、車両（少なくともサスペンション上の車体）を剛体と仮定すれば、これが車両重心点廻りの角加速度となる。しかしながら、並進成分は異なる。そこで、図4に示すごとく、重心Gを座標原点とする運動座標系 $G-xyz$ をとり、点Gから点Sまでの位置ベクトルを a_s 、また、前述の静止座標系の原点Oから重心Gまでの位置ベクトルを R_G とする。このとき、次式が成立する。

20

*

$$A_G = A_{s1} - (A\omega_{s2}z_s - A\omega_{s3}y_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s1} - \omega_{s2}^2x_s]$$

$$A_G = A_{s2} - (A\omega_{s3}x_s - A\omega_{s1}z_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s2} - \omega_{s3}^2y_s]$$

$$A_G = A_{s3} - (A\omega_{s1}y_s - A\omega_{s2}x_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s3} - \omega_{s1}^2z_s]$$

となる。また、車両重心の速度ベクトル $V_G = (V_G, V_G, V_G)$ は、

【数16】を積分することにより求めることができる。次に、車両の回転と共に加速度センサも回転するためにセンサの検出方向が時々刻々変化してしまう問題について考える。地球の重力方向を z 軸にとり、例えば、車両の z 軸廻りの運動（ヨーイング）を検出する場合、 x 軸廻りの運動（ローリング）や y 軸廻りの運動（ピッチング）が連成されて発生すると車両が傾き、同時にセンサの検出方向も傾くので、正確なヨーイングはそのままでは検出できない。これまでに得た角加速度 $A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$ は運動座標系 $S-x_1x_2x_3$ での各成分であり、並進加速度 A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{s3} 、 A_G 、 A_G 、 A_G は静止座標 $O-XYZ$ で定義されたベクトル A_s 、 A_c のある瞬間における運動座標系 $S-x_1x_2x_3$ の各軸方向

*【数13】 $R_s = R_G + a_s$

辺々微分して次式を得る。

【数14】 $V_s = V_G + \omega_s \times a_s$

ここで V_G は重心点Gでの並進速度ベクトルである。さらに微分して次式を得る。

【数15】 $A_s = A_G + A\omega_s \times a_s + \omega_s \times (\omega_s \times a_s)$

ここで A_G は重心点Gでの並進加速度ベクトルである。前述の運動座標系 $S-x_1x_2x_3$ のときの扱いと同様に、

【数15】を重心点Gを原点とする運動座標系 $G-xyz$ の各軸に平行な成分（ $S-x_1x_2x_3$ とも平行）に分解して考えて、 $a_s = (x_s, y_s, z_s)$ 及び $A_G = (A_G, A_G, A_G)$ と置けば、各成分に対して次式を得る。

【数16】

成分である。従って、 $O-XYZ$ の各軸方向成分を求めるためには、 $S-x_1x_2x_3$ 及び $G-xyz$ に対して各瞬時に於いて軸方向が等しく原点がOに等しい座標系 $E-X_1X_2X_3$ を考え、これまでの演算により求めた量をこの座標系に対応させ、次に、 $E-X_1X_2X_3$ と $O-XYZ$ の間で座標変換を施せば、正しいデータが得られるはずである。図8は、この傾きに対する補正を行うための変換法に関するもので、一般にオイラー角変換と呼ばれている。図に示されるごとく、 X_3 軸と Z 軸のなす角を θ 、 XY 平面と X_1X_2 平面の交線をONとしたときのONと X 軸のなす角を ϕ 、ONと X_1 軸のなす角を ψ とすれば、 $E-X_1X_2X_3$ 系から $O-XYZ$ 系への変換行列は次のように与えられる。

【数17】

$$\begin{pmatrix} A_0 \\ A\omega_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_E & 0 \\ 0 & \Omega_E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_S \\ A\omega_S \end{pmatrix} \quad (\Omega_E) = \begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} \end{pmatrix}$$

但し

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \phi \cos \psi - \cos \theta \sin \phi \sin \psi \\ \Omega_{12} &= -\cos \phi \sin \psi - \cos \theta \sin \psi \cos \phi \\ \Omega_{13} &= \sin \theta \sin \psi \\ \Omega_{21} &= \sin \phi \cos \psi + \cos \theta \cos \phi \sin \psi \\ \Omega_{22} &= -\sin \phi \sin \psi + \cos \theta \cos \phi \cos \psi \\ \Omega_{23} &= -\sin \theta \cos \phi \\ \Omega_{31} &= \sin \theta \sin \psi \\ \Omega_{32} &= -\sin \theta \cos \psi \end{aligned}$$

$$* \Omega_{33} = \cos \theta$$

であり、並進加速度ベクトル $A_0 = (A_{0x}, A_{0y}, A_{0z})$ 、角加速度ベクトル $A\omega_0 = (A\omega_{0x}, A\omega_{0y}, A\omega_{0z})$ は、何れも静止座標系 $O-XYZ$ から見た量である。ここで、角度 θ 、 ϕ 、 ψ は次のようにして求まる。今、 $X_1 X_2 X_3$ 方向の角速度成分が、 ω_{x1} 、 ω_{x2} 、 ω_{x3} であるとすれば次の関係式が成り立つ。

【数18】

*

$$\begin{aligned} \omega_{x1} &= \omega_y \cos \phi + \omega_z \sin \theta \sin \phi \\ \omega_{x2} &= -\omega_y \sin \phi + \omega_z \sin \theta \cos \phi \\ \omega_{x3} &= \omega_x \cos \theta + \omega_y \end{aligned}$$

但し、

$$\omega_y = (d\theta/dt), \quad \omega_z = (d\phi/dt), \quad \omega_x = (d\psi/dt)$$

【数18】について解くと、次式を得る。

20 【数19a】

$$(\theta \neq 0)$$

$$\begin{aligned} \omega_y &= \omega_{x1} \cos \phi - \omega_{x2} \sin \phi \\ \omega_z &= (\omega_{x1} \sin \phi + \omega_{x2} \cos \phi) / \sin \theta \\ \omega_x &= \omega_{x3} - \omega_y \cos \theta \end{aligned}$$

【数19b】

$$(\theta = 0)$$

$$\begin{aligned} \omega_y &= \omega_{x1} \cos \phi - \omega_{x2} \sin \phi \\ \omega_y + \omega_z &= \omega_{x3} \end{aligned}$$

角速度は、 $\omega_{x1} = \omega_{s1}$ 、 $\omega_{x2} = \omega_{s2}$ 、 $\omega_{x3} = \omega_{s3}$ であり、 θ 、 ϕ 、 ψ の値は $\theta \neq 0$ または $\theta = 0$ に応じて、

【数19a】、

【数19b】を積分して得られるので、以上より静止座標系 $O-XYZ$ での並進加速度、並進速度、及び角加速※

※度、角速度が求まったことになる。次に、車両の重心に加わる力、軸廻りのトルクを同定する。まず車両に働くトルクに対し、運動座標系 $G-xyz$ 上で記述したオイラー方程式が適用され、次式で示される。

【数20】

$$N_G = \frac{dL}{dt} + (\omega_s \times L) \quad L = I \omega_s$$

ここで、 N_G はトルク、 L は運動中の車両の角運動量、そして I は車両の座標系 $G-xyz$ での慣性行列 I (慣性モーメント I 、慣性乗積 I ($i \neq j$)) である。

【数20】を各軸方向成分に分解して、 i, j の添字を1

40 $\rightarrow x$ 、 $2 \rightarrow y$ 、 $3 \rightarrow z$ と対応させれば、角速度ベクトル $\omega_s = (\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_{s3})$ 、及び角加速度ベクトル $A\omega_s = (A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3})$ を用いて、トルクベクトル N_G の各成分は次式で求められる。

【数21】

$$\begin{aligned} N_G &= (I_{11} A\omega_{s1} + I_{12} A\omega_{s2} + I_{13} A\omega_{s3}) + [\omega_{s2} (I_{11} \omega_{s1} + I_{12} \omega_{s2} + I_{13} \omega_{s3}) - \omega_{s3} (I_{12} \omega_{s1} + I_{13} \omega_{s2} + I_{11} \omega_{s3})] \\ N_G &= (I_{21} A\omega_{s1} + I_{22} A\omega_{s2} + I_{23} A\omega_{s3}) + [\omega_{s3} (I_{21} \omega_{s1} + I_{22} \omega_{s2} + I_{23} \omega_{s3}) - \omega_{s1} (I_{21} \omega_{s1} + I_{22} \omega_{s2} + I_{23} \omega_{s3})] \\ N_G &= (I_{31} A\omega_{s1} + I_{32} A\omega_{s2} + I_{33} A\omega_{s3}) + [\omega_{s1} (I_{31} \omega_{s1} + I_{32} \omega_{s2} + I_{33} \omega_{s3}) - \omega_{s2} (I_{31} \omega_{s1} + I_{32} \omega_{s2} + I_{33} \omega_{s3})] \end{aligned}$$

一方、重心に働く力は重心点での加速度ベクトル $A_G = (A_{G1}, A_{G2}, A_{G3})$ と車両の質量 M を用いて、ごく簡単に次式で求められる。

【数22】 $F_G = MA_G$

$$F_{G1} = MA_{G1}$$

$$F_{G2} = MA_{G2}$$

以上、6個の加速度センサの測定値から車両の運動に関する各物理量を演算、推定するモデル方程式について説明してきた。ここで注意すべきことは、

【数22】までの式の導出において移動体である車両を剛体としたこと以外に何等の仮定を含んでいないことである。即ちこの計算式群は移動体の運動検出の基本式と*

$$\Delta \omega_{s1} \approx \frac{A_{s1} + A_{s1}}{(h_1 + h_2)}$$

$$\Delta \omega_{s2} \approx \frac{A_{12} + A_{22}}{(l_1 + l_2)}$$

$$\Delta \omega_{s3} \approx \frac{A_{33} + A_{43}}{(d_1 + d_2)}$$

同様に、

【数17】のオイラー角変換において方位角 ϕ に対し極角 θ と方位角 ψ が微小である場合、 $\cos \theta \approx 1$ 、 $\cos \psi \approx 1$ 、 $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\sin \psi \approx \psi$ と近似でき、変換行列の係数は次式ようになる。

【数24】 $\Omega_{11} \approx \cos \phi - \psi (\sin \phi)$

$$\Omega_{12} \approx 0$$

$$\Omega_{13} \approx \theta \cdot \psi$$

$$\Omega_{21} \approx \sin \phi + \psi (\cos \phi)$$

$$\Omega_{22} \approx -(\sin \phi) \psi + (\cos \phi)$$

$$\Omega_{23} \approx -\theta \cos \phi$$

$$\Omega_{31} \approx \theta \cdot \psi$$

$$\Omega_{32} \approx -\theta$$

$$\Omega_{33} \approx 1$$

これらのモデル方程式の近似は要求される検出の精度によって任意に行うことができる。これらの演算は全てマイクロコンピュータ内部のソフトウェアとして実現できる。図9に車両運動推定のためのハードウェア構成、図10から14にマイクロコンピュータでの演算処理の流れを示す。まず、ハードウェアの全体構成は、図9に示すように車両上のある点 $S_1 \sim S_6$ に図3のように配置された(図4または図5の構成でも構わない)加速度センサ1~6、各センサの信号増幅器21~26、6個のセンサ出力(アナログ信号)をデジタル信号に変換するAD変換器27(マイクロコンピュータの機能の一部として実現してもよい)、入力信号を一時ストアしておくためのバッファ61、及びマイクロコンピュータ28により構成される。マイクロコンピュータ28は、1個若しくは複数個のCPU28a、I/O28b、ROM28c、RAM28d及びその他の周辺LSIで構成され

*いうべきものであり、マイクロコンピュータの計算能力や車両の運動の限定などによる式の近似は、本質的に本発明に含まれていると考えるべきである。運動座標系 $S-x_1x_2x_3$ の x_1 軸を車両前後方向、 x_2 軸を横方向、 x_3 軸を上下方向に取ったとき、例えば車両の旋回運動中に x_3 軸廻りの角速度(ヨー角速度) ω_{s3} に対して、 x_1 軸廻りの角速度(ロール角速度) ω_{s1} 、 x_2 軸廻りの角速度(ピッチ角速度) ω_{s2} が十分小さいと仮定できれば、

【数12】は次のように近似できる。

【数23】

ており、必要とされる演算速度、記憶容量に応じて任意のハードウェア構成(例えば複数個のシングルチップマイコン、デジタルシグナルプロセッサ、或いは並列処理が可能なパラレルプロセッサなど)が取られる。次に図10から14に示すように、最初に運転スタート時のエンジンキーがオンとなった状態でマイクロコンピュータはリセットされ、初期設定のための処理が行われる。即ち、並進加速度、角加速度、並進速度、角速度などRAM28dに記憶されるデータは一度0に設定される。次に、車両走行前の停止状態でDC成分検出可能な加速度センサ1~6は地球重力加速度 g のみを検出する。今、加速度センサ1~6から信号増幅器21~26を経て出力された電圧(アナログ信号)が $g_1 \sim g_6$ が検出されたとする。このとき、 $g_1 \sim g_6$ はAD変換器27、I/O28bを介してマイクロコンピュータ内に入力され、ROM28cにメモリされているセンサ座標値 $h_1, h_2, l_1, l_2, d_1, d_2$ と共にCPU28aにロードされ、

【数11】の演算式を実行するようにプログラムされた手順に従い並進加速度(g_{s1}, g_{s2}, g_{s3})を求める(ステップ1)。停止時には車両の角加速度、角速度とも0であるから、これはそのまま重心の並進加速度(g_G, g_G, g_G)となる。このとき、

【数17】のオイラー角変換に基づく演算プログラムに従い、新しい基準座標系 $O-XYZ$ での値が(0, 0, g)になるようにオイラー角 θ, ϕ, ψ の初期値を決定しRAM28dに値をストアする(ステップ2)。次に車両が走行を開始すると、加速度センサ1~6は車両運動の加速度を検知し、信号増幅器21~26からは電圧 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ が出力される。これらはAD変換器27、I/O

028bを介してマイクロコンピュータ内に入力され、ROM28cにメモリされているセンサ座標値 h_1 、 h_2 、 l_1 、 l_2 、 d_1 、 d_2 と共にCPU28aにロードされ、11、12式に基づく演算プログラムを実行し、並進加速度(A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{s3})及び角加速度($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)を求め、演算結果をRAM28dの指定領域にストアする(ステップ3)。そして次に、この1回の演算サイクル時間 Δt (ROM28cに設定しておくか、或いはマイクロコンピュータの内蔵タイマにより計測される)をロードして、次式で示すディジタル演算式が実行される(ステップ4)。

$$\text{【数25】 } \omega_{s1} = \Omega_{s1} + A\omega_{s1} \cdot \Delta t$$

$$\omega_{s2} = \Omega_{s2} + A\omega_{s2} \cdot \Delta t$$

$$\omega_{s3} = \Omega_{s3} + A\omega_{s3} \cdot \Delta t$$

ここで、(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})が求める角速度であり、(Ω_{s1} 、 Ω_{s2} 、 Ω_{s3})は演算1サイクル前の角速度で($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)は今回の角加速度の値である。これらは、初期的には0に設定されている。今回求められた角速度データはRAM28dの指定領域にストアされて、(ステップ3)で得た角加速度($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)と共に次回の

【数25】演算時にCPU28aにロードされて用いられる。次に、ROM28cより車両重心点Gとセンサの位置Sに関する座標のデータ x_s 、 y_s 、 z_s をロードし、RAM28dより(ステップ3)と(ステップ4)で得た並進加速度(A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{s3})及び角加速度($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)角速度(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})をロードし、

【数16】に基づく演算プログラムを実行し、重心点での並進加速度(A_G 、 A_G 、 A_G)を求め演算結果をR*30

*AM28dの指定領域にストアする(ステップ5)。そして、(ステップ4)と同様に1回の演算サイクル Δt をロードして、次式を実行する。

$$\text{【数26】 } V_G = FV_G + A_G \cdot \Delta t$$

$$V_G = FV_G + A_G \cdot \Delta t$$

$$V_G = FV_G + A_G \cdot \Delta t$$

ここで、(V_G 、 V_G 、 V_G)は求める並進速度であり、(FV_G 、 FV_G 、 FV_G)は1サイクル前の並進速度、(A_G 、 A_G 、 A_G)は今回の並進加速度の値である。

これらは、初期的には0に設定されており、以後求められた並進速度データはRAM28dの指定領域にストアされ演算ごとに値が更新される(ステップ6)。次に、

(ステップ2)で初期設定されたオイラー角 θ 、 ϕ 、 ψ と(ステップ4)で求めた角速度(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})をロードし、

【数19】に基づく演算プログラムを実行して、オイラー角 θ 、 ϕ 、 ψ の角速度を求める(ステップ7)。ここで、 $\theta=0$ と $\theta \neq 0$ のときは演算式が異なり、特に $\theta=0$ のときは座標系O-XYZのXY平面とE-X₁X₂X₃のX₁X₂平面の交線ONが消失するので ϕ 、 ψ の定義ができない。このときの演算手順は図9で示される。まず、RAM28dよりロードしたオイラー角 θ 、 ϕ 、 ψ の1回前の値 Θ 、 Φ 、 Ψ の Θ の値を参照し、 $\Theta=0$ (或る範囲内で近似的に0としても可)か $\neq 0$ の判別をする。 $\Theta \neq 0$ のときは Θ 、 Φ 、 Ψ 、及び角速度(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})の値より、

【数19a】に基づく演算プログラムを実行して、オイラー角 θ 、 ϕ 、 ψ の角速度を求め、さらに次式に従ってオイラー角 θ 、 ϕ 、 ψ を求める。

$$\text{【数27】}$$

$$\theta = \Theta + \omega_{\theta} \cdot \Delta t$$

$$\phi = \Phi + \omega_{\phi} \cdot \Delta t$$

$$\psi = \Psi + \omega_{\psi} \cdot \Delta t$$

但し、 ω_{θ} 、 ω_{ϕ} 、 ω_{ψ} は、オイラー角の角速度を示す。

ここで、 Δt は演算サイクル時間である(ステップ7a2)。

一方、 $\Theta=0$ のときは、【数19b】に基づいて $\phi+\psi=\xi$ として角速度 ω_{ξ}

($=\omega_{\phi}+\omega_{\psi}$)= ω_{ξ} 、また ω_{s1} 、 ω_{s2} と ϕ の値より ω_{ξ} を求める演算プログラムを実行する。このときは【数27】に替わり次式に従って角度 θ 及び ξ を求める。

【数28】

$$\theta = \Theta + \omega_{\theta} \cdot \Delta t$$

$$\xi = \Xi + \omega_{\xi} \cdot \Delta t$$

但し、 Ξ は1回前の ξ の値である(ステップ7a1)。
 θ の値は時々刻々変化するので $=0$ となったり $\neq 0$ とな

ったりする。ある時点で $\theta \neq 0$ より $\theta=0$ となった場合には1回前のオイラー角 Φ 、 Ψ より $\Xi=\Phi+\Psi$ とし

17

【数28】より ξ を求めれば良く(ステップ7b2~7c2)、逆にある時点で $\theta=0$ より $\theta \neq 0$ となった場合には、 $\Phi=\Xi$ 、 $\Psi=0$ と初期設定し、

【数19a】よりオイラー角 ϕ 、 ψ の角速度、

【数27】より ϕ 、 ψ を得る(ステップ7b1~7c1)。そして、重心点での並進加速度(A_G 、 A_G 、 A^*

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

ここで、(X_1 、 X_2 、 X_3)は、S-x₁x₂x₃、及びG-x_yz座標系での各ベクトルの成分の値、(Y_1 、 Y_2 、 Y_3)はそのO-XYZ座標系に変換された値である。但し、 $\theta \neq 0$ のときと $\theta=0$ のときで行列の係数が次のように異なる。

($\theta \neq 0$ のとき:ステップ7d2)

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \phi \cos \psi - \cos \theta \sin \phi \sin \psi \\ \Omega_{12} &= -\cos \phi \sin \psi - \cos \theta \sin \phi \cos \psi \\ \Omega_{13} &= \sin \theta \sin \psi \\ \Omega_{21} &= \sin \phi \cos \psi + \cos \theta \cos \phi \sin \psi \\ \Omega_{22} &= -\sin \phi \sin \psi + \cos \theta \cos \phi \cos \psi \\ \Omega_{23} &= -\sin \theta \cos \psi \\ \Omega_{31} &= \sin \theta \sin \psi \\ \Omega_{32} &= -\sin \theta \cos \psi \\ \Omega_{33} &= \cos \theta \end{aligned}$$

($\theta=0$ のとき:ステップ7d1)

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \xi \\ \Omega_{12} &= -\sin \xi \\ \Omega_{13} &= 0 \\ \Omega_{21} &= \sin \xi \\ \Omega_{22} &= \cos \xi \\ \Omega_{23} &= 0 \\ \Omega_{31} &= 0 \\ \Omega_{32} &= 0 \\ \Omega_{33} &= 1 \end{aligned}$$

そして、O-XYZ座標系から見た重心点での並進加速度(A_0 、 A_0 、 A_0)、並進速度(V_0 、 V_0 、 V_0)及び角加速度($A\omega_{01}$ 、 $A\omega_{02}$ 、 $A\omega_{03}$)、角速度(ω_{01} 、 ω_{02} 、 ω_{03})を順次求め、RAM28dの指定領域に値をストアする(ステップ8)。次に、マイクロコンピュータは、角加速度($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)と角速度(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})を順次、RAM28dよりロードし、且つ車両のデータとして座標系G-x_yzでの慣性モーメント I_x 、 I_y 、 I_z 、慣性乗積 I_{xy} 、 I_{yz} 、 I_{zx} (=

(角加速度): ($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)、($A\omega_{01}$ 、 $A\omega_{02}$ 、 $A\omega_{03}$)

(角速度): (ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})、(ω_{01} 、 ω_{02} 、 ω_{03})

(並進加速度): (A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{s3})、(A_G 、 A_G 、 A_G)
(A_0 、 A_0 、 A_0)

(並進速度): (V_G 、 V_G 、 V_G)、(V_0 、 V_0 、 V_0)

(トルク): (N_G 、 N_G 、 N_G)、(N_0 、 N_0 、 N_0)

18

* ω_c)、並進速度(V_G 、 V_G 、 V_G)及び角加速度($A\omega_{s1}$ 、 $A\omega_{s2}$ 、 $A\omega_{s3}$)、角速度(ω_{s1} 、 ω_{s2} 、 ω_{s3})を順次、RAM28dよりロードし、次式に基づく演算プログラムを実行させる。

【数29】

I_x 、 I_y 、 I_z (= I_x)、 I_{xy} 、 I_{yz} 、 I_{zx} 、をROM28cよりロードして

【数21】の第1式に基づく演算プログラムを実行し、x軸廻りに働くトルク N_G を求め演算結果をRAM28dの指定領域に値をストアする。同様に、y軸廻りに働くトルク N_G については

【数21】の第2式、z軸廻りに働くトルク N_G については

【数21】の第3式に基づく演算プログラムを実行し、各々演算結果をRAM28dの指定領域に値をストアする。また、マイクロコンピュータは、重心点での並進加速度(A_G 、 A_G 、 A_G)をRAM28dより、車両の質量 M をROM28cよりロードして各並進加速度と質量 M との乗算により重心点 G での各軸方向に働く力 F_G 、 F_G 、 F_G を求め、各々演算結果をRAM28dの指定領域に値をストアする(ステップ9)。さらに、(ステップ7)における演算手順を繰り返すことにより、O-XYZ座標系から見たトルク(N_0 、 N_0 、 N_0)、力(F_0 、 F_0 、 F_0)を演算し、各々演算結果をRAM28dの指定領域に値をストアして1回の演算が終了して(ステップ1)に戻る(ステップ10)。

(ステップ1)から(ステップ10)に至る演算の過程はマイクロコンピュータ28のある1回の演算サイクル(時間 Δt)の間に行われる。ここで、演算は(ステップ1)から(ステップ10)まで時間を追って順に行われる必要はなく、並列の演算処理が可能である演算については複数のCPUを用いて同時に処理していくように構成することも考えられる。次に、図14はある車両制御システムの全体構成の概念図を示している。ここでは、本発明における車両運動の推定を行う運動検出装置100をサブシステムとしてシステムの1部に含む形となっている。即ち、図9の演算過程によりRAM28dにストアされたある時点 t でのデータ

(力) : (F_G, F_G, F_G)

などは上位の制御システムの指令により必要に応じて制御情報として読み出され使用される。図14の例は制御システムが1個の統合制御システムとして集中制御されている例であるが、システム構成は、例えば図16のように別個の制御目的を持つ複数の制御システムが自律分散的に構成されている場合であっても構わない。この場合には、運動検出装置100で得たデータは車両上に構築されたネットワーク110に送出され、各制御システムはネットワーク110上を流れる制御情報のうち必要な情報のみを非同期且つ自律的に取り込み使用する。以上説明した車両の運動推定方法はセンサとして加速度センサのみを用いた場合であった。次に、図17は、加速度センサ1～6の他に車両の各車輪の回転速度を検出する車輪速度センサ40～43、前輪、後輪の実舵角を検出する舵角センサ44、45（但し45は4輪操舵車の場合のみ）、サスペンションストロークの変位を検出する車高センサ46～49、地磁気を検出して方位を測定する方位センサ50が用いられている場合の実施例を示している。これら個々のセンサは従来の車両制御システムやナビゲーションシステム等において既に使用されているものであり、その構造、動作原理の詳細な説明は省略する。しかし、このように多種のセンサを用いて車両運動を測定すると、車両制御において重要ないくつかの制御パラメータが推定できる。まず、図19は図17の車両運動推定システムの機能のなかで、加速度センサ1～6、舵角センサ44、45、車高センサ46～49を使用して、車両重心点G及び各車輪（以後、前左輪：fl、前右輪：fr、後左輪：rl、後右輪：rrの添字を用いて区別する）の横滑り角 β_c 、 β_{fl} 、 β_{fr} 、 β_{rl} 、 β_{rr} を推定する方法について示している。横滑り角 β は、一般に車両の操舵特性等に影響し、車両若しくは車輪の進行方向速度 V と横方向速度 V_y の比から次式のように求められる。

【数30】

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$

まず、車両重心点Gでの横滑り角 β_c は、前に定義した座標系G-x-y-zのx軸が車両進行方向に一致していれば、図10から14の（ステップ6）で求めた V_c 、 V_y

、 (F_0, F_0, F_0)

c を用いて $V_x = V_c$ 、 $V_y = V_c$ とするか、（ステップ7）で求めた V_0 、 V_y を用いて $V_x = V_0$ 、 $V_y = V_0$ として、

【数30】に基づく演算プログラムを実行することによって得られる。次に、各車輪の横滑り角を求めるには車輪位置での並進速度を求める必要がある。このためにまず次のベクトル演算を考える。今、車両重心点Gからある車輪の回転中心までの位置ベクトルを r_T とすれば、車両全体の角速度ベクトル ω_s のとき車輪の並進速度ベクトル V_T は次式で示される。

【数31】 $V_T = V_G + \omega_s \times r_T + V$

V は車輪を含むバネ下質量がサスペンションを介して車体（バネ上質量—剛体）に対し運動するときの相対速度ベクトルである。ここで、図18に示すようにサスペンションの運動が上下方向（z軸）のみに限定されると仮定すると、ベクトル r_T に対してサスペンションの変位の影響はz軸成分のみとなり、且つベクトル V はz軸成分のみ有する。このとき、前後左右の4輪の各位置ベクトル、各速度ベクトルは次式のように仮定される。

【数32】（前左輪） $r_T = (x_T, y_T, z_T - h)$ $V_T = (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz} - (dh/dt))$

（前右輪）

 $r_T = (x_T, y_T, z_T - h)$ $V_T = (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz} - (dh/dt))$

（後左輪）

 $r_T = (x_T, y_T, z_T - h)$ $V_T = (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz} - (dh/dt))$

（後右輪）

 $r_T = (x_T, y_T, z_T - h)$ 、 $V_T = (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz} - (dh/dt))$

但し、 h_{fl} 、 h_{fr} 、 h_{rl} 、 h_{rr} は前後左右のサスペンションストロークの変位であり、 (dh_{fl}/dt) 、 (dh_{fr}/dt) 、 (dh_{rl}/dt) 、 (dh_{rr}/dt) はその微分値（速度）である。これを

【数31】に代入し各車輪の並進速度ベクトル V_{fl} 、 V_{fr} 、 V_{rl} 、 V_{rr} の各成分を求めると次の方程式群を得る。

【数33】

(前左輪)

$$V_{Tfl} = (V_{Txfl}, V_{Tyfl}, V_{Tzfl})$$

$$V_{Txfl} = V_{Gx} + (\omega_{S2}(Z_{Tfl} - h_{fl}) - \omega_{S3}Y_{Tfl})$$

$$V_{Tyfl} = V_{Gy} + (\omega_{S3}X_{Tfl} - \omega_{S1}(Z_{Tfl} - h_{fl}))$$

$$V_{Tzfl} = V_{Gz} + (\omega_{S1}Y_{Tfl} - \omega_{S2}X_{Tfl}) - (dh_{fl}/dt)$$

(前右輪)

$$V_{Trf} = (V_{Txrf}, V_{Tyrf}, V_{Tzrf})$$

$$V_{Txrf} = V_{Gx} + (\omega_{S2}(Z_{Trf} - h_{rf}) - \omega_{S3}Y_{Trf})$$

$$V_{Tyrf} = V_{Gy} + (\omega_{S3}X_{Trf} - \omega_{S1}(Z_{Trf} - h_{rf}))$$

$$V_{Tzrf} = V_{Gz} + (\omega_{S1}Y_{Trf} - \omega_{S2}X_{Trf}) - (dh_{rf}/dt)$$

(後左輪)

$$V_{Tfl} = (V_{Txfl}, V_{Tyfl}, V_{Tzfl})$$

$$V_{Txfl} = V_{Gx} + (\omega_{S2}(Z_{Tfl} - h_{fl}) - \omega_{S3}Y_{Tfl})$$

$$V_{Tyfl} = V_{Gy} + (\omega_{S3}X_{Tfl} - \omega_{S1}(Z_{Tfl} - h_{fl}))$$

$$V_{Tzfl} = V_{Gz} + (\omega_{S1}Y_{Tfl} - \omega_{S2}X_{Tfl}) - (dh_{fl}/dt)$$

(後右輪)

$$V_{Trf} = (V_{Txrf}, V_{Tyrf}, V_{Tzrf})$$

$$V_{Txrf} = V_{Gx} + (\omega_{S2}(Z_{Trf} - h_{rf}) - \omega_{S3}Y_{Trf})$$

$$V_{Tyrf} = V_{Gy} + (\omega_{S3}X_{Trf} - \omega_{S1}(Z_{Trf} - h_{rf}))$$

$$V_{Tzrf} = V_{Gz} + (\omega_{S1}Y_{Trf} - \omega_{S2}X_{Trf}) - (dh_{rf}/dt)$$

そして、路面に対し車両の傾きが小さいとすれば各車輪の横滑り角は

*の実舵角 λ 、 λ を用いて次式で与えられる。
【数34】

【数33】の各x y軸方向並進速度成分と前輪及び後輪*

$$\beta_{fl} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{Tyfl}}{V_{Txfl}}\right) - \lambda_f \quad \beta_{fr} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{Tyrf}}{V_{Txrf}}\right) - \lambda_f$$

$$\beta_{rl} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{Tyrl}}{V_{Txrl}}\right) - \lambda_r \quad \beta_{rr} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{Tyrr}}{V_{Txrr}}\right) - \lambda_r$$

但し、2輪操舵車の場合は常に $\lambda = 0$ である。図19に戻り、各車輪の横滑り角を推定するアルゴリズムは次のようになる。まず、ある時点において加速度センサ1～6、舵角センサ44、45、車高センサ46～49の測定値をAD変換器27を通過させてデジタル信号に変換し、マイクロコンピュータのI/O28bを介して入力されバッファ61に一時ストアされる(ステップ1)。ここで車高センサの出力 h 、 h 、 h 、 h についてはアナログ素子による微分回路60を通過させて微分値 (dh/dt) 、 (dh/dt) 、 (dh/dt) 、 (dh/dt) に比例する出力を生成し、これもデジタル信号に変換されてマイクロコンピュータに入力されている。加速度センサ1～6の測定値がバッファ61よりまず呼び出され、図10から14の演算と同様の手順で処理され車両重心点の並進速度 (V_G, V_G, V_G) 、角速度 $(\omega$

$\omega_{S1}, \omega_{S2}, \omega_{S3})$ が求められる(ステップ2)。次に、マイクロコンピュータは、予めメモリされた各車輪の座標値 (x_T, y_T, z_T) 、 (x_T, y_T, z_T) 、 (x_T, y_T, z_T) 、 (x_T, y_T, z_T) をROM28cより、車高センサ46～49の測定値及びその微分値 h 、 h 、 h 、 h 及び (dh/dt) 、 (dh/dt) 、 (dh/dt) 、 (dh/dt) をバッファ61より、さらに、車両重心点の並進速度 (V_G, V_G, V_G) 、角速度 $(\omega_{S1}, \omega_{S2}, \omega_{S3})$ をRAM28dより、順次CPU28aにロードし

【数33】に基づく演算プログラムを実行することによって各車輪の並進速度の値 (V_T, V_T, V_T) 、 (V_T, V_T, V_T) 、 (V_T, V_T, V_T) 、 (V_T, V_T, V_T) が求められ、各々の演算結果がRAM28dの指定領域にストア

される(ステップ3)。最後に、舵角センサ44、45の測定値 λ 、 λ がバッファ61より、RAM28dより(ステップ2)での演算結果が順次CPU28aにロード入力され、

【数34】に基づく演算プログラムを実行することによって各車輪の横滑り角 β 、 β 、 β 、 β が求められ、各々の演算結果がRAM28dの指定領域にストアされて演算の1サイクルが終了する(ステップ4)。次に、図20は加速度センサ1~6、舵角センサ44、45、車高センサ46~49に加えて、各車輪の車輪速度センサ40~43を用いて各車輪の時々刻々のスリップ率を推定する方法について示している。一般に車輪のスリップ率は車輪の半径を r_T 、回転速度を ω_T としたとき、 $U_T = r_T \omega_T$ より求まる車輪の進行方向の並進速度と実際の並進速度との比で与えられる。各車輪を示す添字をこれまで通りとしたとき、各車輪のスリップ率 S_L 、 S_L 、 S_L 、 S_L は車輪進行方向の並進速度として車輪速度より求まる U_T 、 U_T 、 U_T 、 U_T と実際の速度 V_T 、 V_T 、 V_T 、 V_T により各々次式で与えられる。

$$【数35】 S_L = 1 - (U_T / V_T)$$

$$S_L = 1 - (U_T / V_T)$$

$$S_L = 1 - (U_T / V_T)$$

$$S_L = 1 - (U_T / V_T)$$

ここで、実際の並進速度 V_T 、 V_T 、 V_T 、 V_T は、33式で得られた値(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)のxy成分と前後輪の実舵角 λ 、 λ を用いて各々次式で与えられる。

$$【数36】 V_T = V_T \cos \lambda + V_T \sin \lambda$$

$$V_T = V_T \cos \lambda + V_T \sin \lambda$$

$$V_T = V_T \cos \lambda + V_T \sin \lambda$$

$$V_T = V_T \cos \lambda + V_T \sin \lambda$$

図20に戻り、各車輪のスリップ率を推定するアルゴリズムは次のようになる。まず、ある時点においてまず、ある時点において加速度センサ1~6、及び微分回路60を通過させた信号の測定値をAD変換器27を通過させてデジタル信号に変換し、マイクロコンピュータのI/O28bを介して入力されバッファ61に一時ストアされる(ステップ1)。次に、図13における(ステップ2)、(ステップ3)と同様の演算手順により加速度センサ1~6の測定値をもとにした実際の各車輪の並進速度(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)、(V_T 、 V_T 、 V_T)が求められる(ステップ2~3)。そして、舵角センサ44、45より得られた前後輪の実舵角 λ 、 λ のデータを用いて、

【数36】に基づく演算プログラムを実行させて車輪進行方向の並進速度 V_T 、 V_T 、 V_T 、 V_T を求め、

演算結果をRAM28dにストアする(ステップ4)。最後に、車輪速度センサ40~43の測定値 ω_T 、 ω_T 、 ω_T 、 ω_T をバッファ61より取り込み、RAM28dより車輪半径 r_T のデータをロードして乗算により車輪速度の並進速度換算値 U_T 、 U_T 、 U_T 、 U_T を求める。そして、並進速度 V_T 、 V_T 、 V_T 、 V_T を再度ロードして35式に基づく演算プログラムを実行させて各車輪のスリップ率 S_L 、 S_L 、 S_L 、 S_L を求め、演算結果をRAM28dにストアして演算の1サイクルが終了する(ステップ4)。次に、図21は加速度センサ1~6と方位センサ50を用いて任意の時間中に車両が移動した距離、方向を推定する方法について示している。加速度センサ1~6の測定値より図10から14に示したアルゴリズムに従って基準座標系O-XYZでの並進速度(V_0 、 V_0 、 V_0)が求められる。これまで述べてきた方法と同様にマイクロコンピュータによる演算の1サイクルの時間を Δt とすれば、並進速度(V_0 、 V_0 、 V_0)を初期設定時間 $T=0$ より次式の如く再度積分すれば移動した距離(L_0 、 L_0 、 L_0)が得られる。

$$【数37】 L_0 = FL_0 + V_0 \Delta t$$

$$L_0 = FL_0 + V_0 \Delta t$$

$$L_0 = FL_0 + V_0 \Delta t$$

但し、(FL_0 、 FL_0 、 FL_0)は1演算サイクル前の移動距離の値であり $T=0$ での初期値は0に設定されている。また、(V_0 、 V_0 、 V_0)は今回の並進速度の値である。ここで、例えば基準座標系O-XYZのZ軸に地球重力方向、方位センサ50により得られる地球磁極方向をZX平面上にあるとセットすれば、

【数37】を時々刻々演算することにより設定時刻から任意の時刻での東西南北方向への移動距離、及び標高差を求めることができる。以上、本発明の詳細な内容について図を用いて説明してきた。本発明は車両の運動を推定することを目的としたものであるが、特に加速度センサの測定値をもとに運動推定するアルゴリズムについてはこれに限定されるものでなく、船舶、鉄道車両、航空機といった移動体全般に適用可能なものである。

【発明の効果】以上のように本発明によれば、移動体である車両に対して少なくとも各軸方向に2個ずつ計6個の加速度センサを搭載して車両の前後、左右、上下の各方向の加速度を計測してマイクロコンピュータを用いて車両の運動、即ち、任意の座標軸に対する計測点、車両重心点、車両上の任意の位置での並進加速度、並進速度(前後動、左右動、上下動)、任意の座標軸廻りの角加速度、角速度(ローリング、ピッチング、ヨーイング)をマイクロコンピュータの内部ソフトウェアとして構築されたモデル方程式により演算できる。さらに、車輪速度センサ、車高センサ、舵角センサ、方位センサ等を併用することにより車両の横滑り角やスリップ率など車両運動において重要な量がリアルタイムに推定できる。従

って、本発明による車両の運動推定方法を内部ソフトウェアに含む運動検出装置をサブシステムとして、より上位のアクティブ制御システム—例えば、アンチロックブレーキ、トラクションコントロール、4輪駆動、4輪操舵、アクティブサスペンションなどの制御システムの一部として構成し、任意のタイミングで制御情報を上位のシステムに供給できるようにすれば、より高度で、より正確な車両制御システムを構成できる。同様に、方位センサを併用して車両の移動距離や標高差を時々刻々測定できるシステムを構成し、ナビゲーションシステムや自動車情報通信システムなど上位のシステムに接続すれば

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例を示す制御構成図である。

【図2】 本発明の舵角制御部の構成を示す図である。

【図3】 車両上に搭載する加速度センサのレイアウトの第1の実施例である。

【図4】 車両上に搭載する加速度センサのレイアウトの第2の実施例である。

【図5】 車両上に搭載する加速度センサのレイアウトの第3の実施例である。

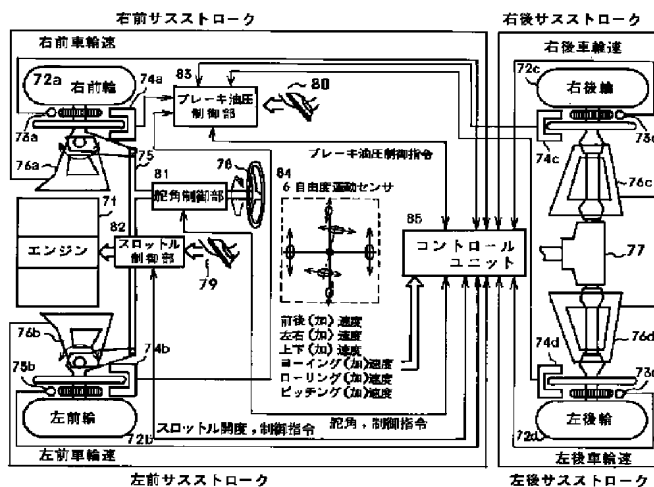
【図6】 使用される運動座標系と静止座標系に関する説明である。

【図7】 センサの座標値及びベクトルの定義である。

【図8】 オイラー角変換での各変数の定義である。

【図9】 車両運動推定システムのハードウェア構成である。

【図1】



【図10】 マイクロコンピュータによる運動推定の演算手順（加速度センサのみの場合その1）である。

【図11】 マイクロコンピュータによる運動推定の演算手順（加速度センサのみの場合その2）である。

【図12】 マイクロコンピュータによる運動推定の演算手順（加速度センサのみの場合その3）である。

【図13】 マイクロコンピュータによる運動推定の演算手順（加速度センサのみの場合その4）である。

【図14】 マイクロコンピュータによる運動推定の演算手順（加速度センサのみの場合その5）である。

【図15】 車両制御システムの全体構成の概念図（集中制御）である。

【図16】 車両制御システムの全体構成の概念図（自律分散制御）である。

【図17】 各種センサを併用した場合の運動推定システムの全体構成である。

【図18】 車両重心点からの車輪位置の座標値である。

【図19】 車両重心点及び各車輪の横滑り角推定方法である。

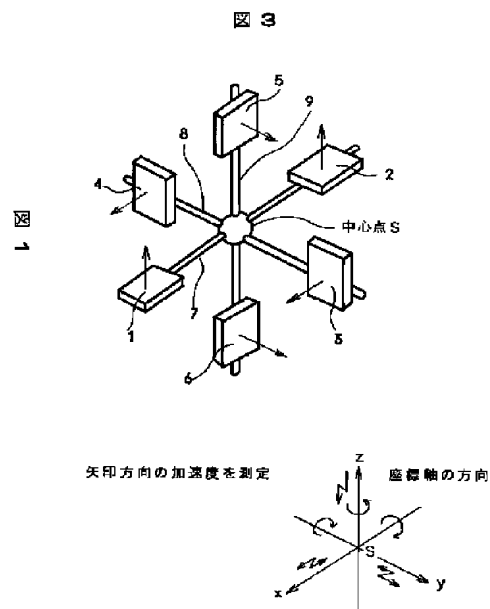
【図20】 各車輪のスリップ率推定方法である。

【図21】 設定時刻からの車両の移動方向、距離の推定方法である。

【符号の説明】

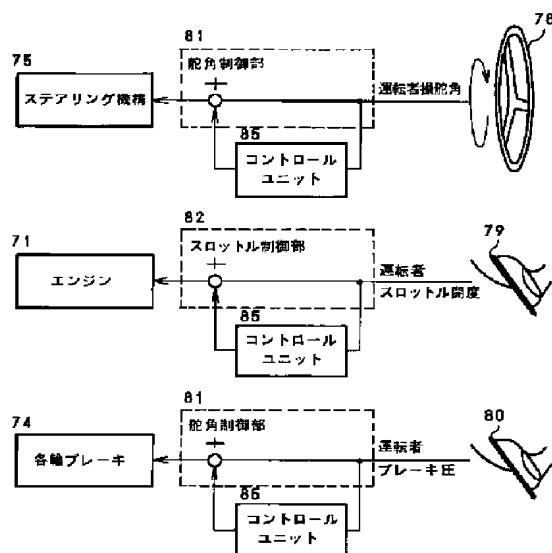
加速度センサ1～6、11～16、マイクロコンピュータ28、運動検出装置100、車輪速度センサ40～43、舵角センサ44、45、車高センサ46～49、方位センサ50。

【図3】



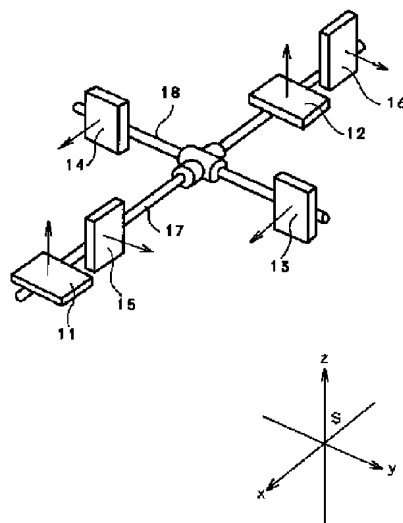
【図2】

図 2



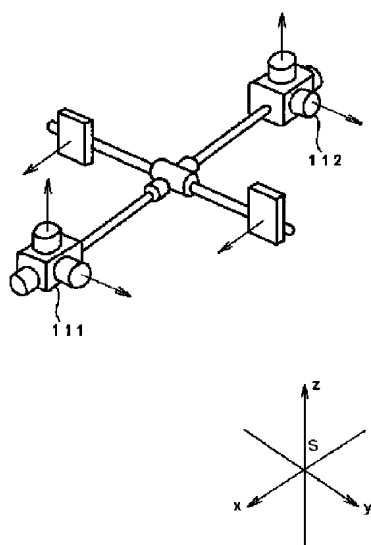
【図4】

図 4



【図5】

図 5



【図6】

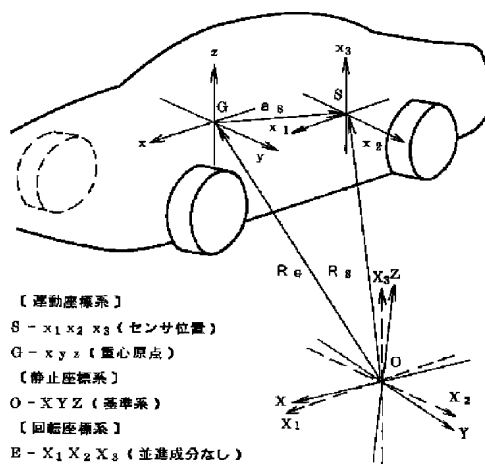
図 6

位置ベクトル

$$R_s (\vec{OS})$$

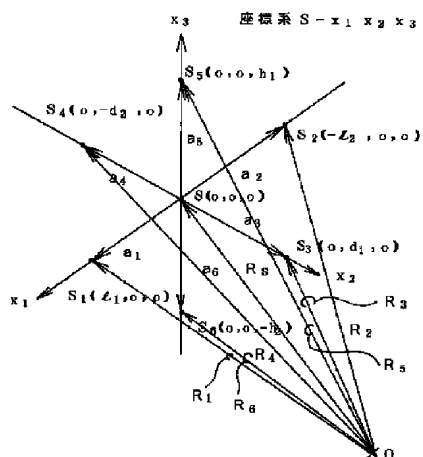
$$R_G (\vec{OG})$$

$$a_s (\vec{GS})$$



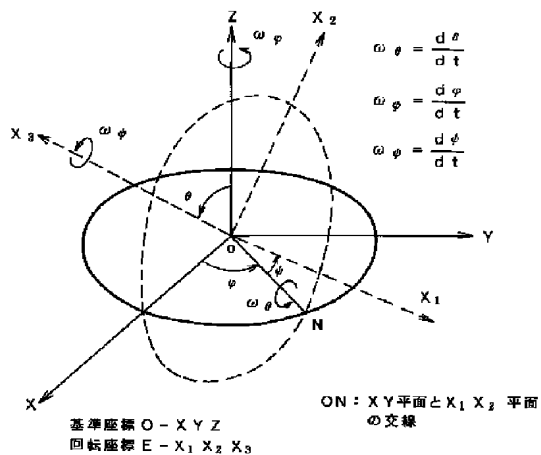
【図7】

図7



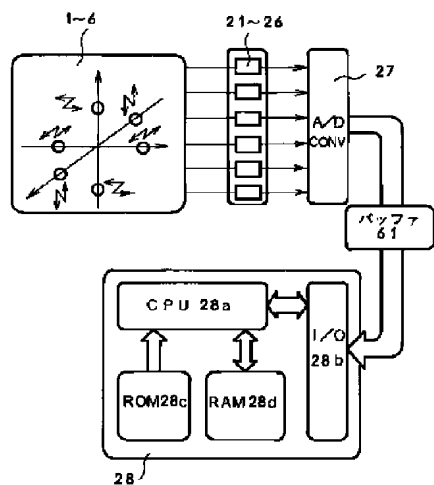
【図8】

図8



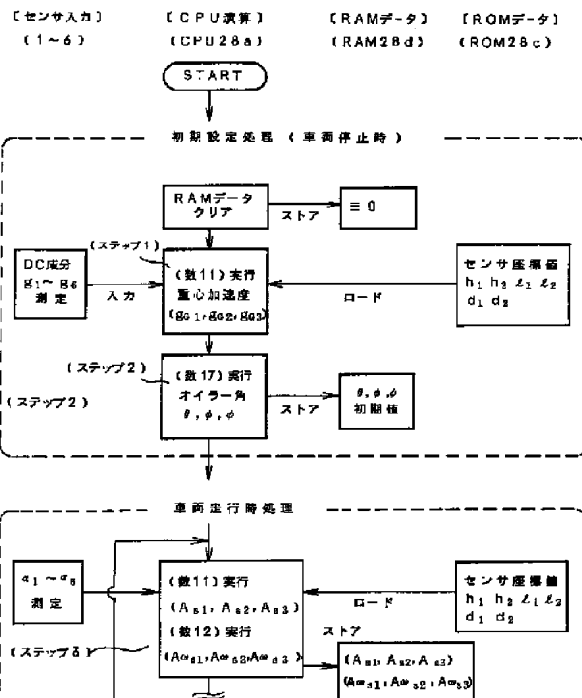
【図9】

図9



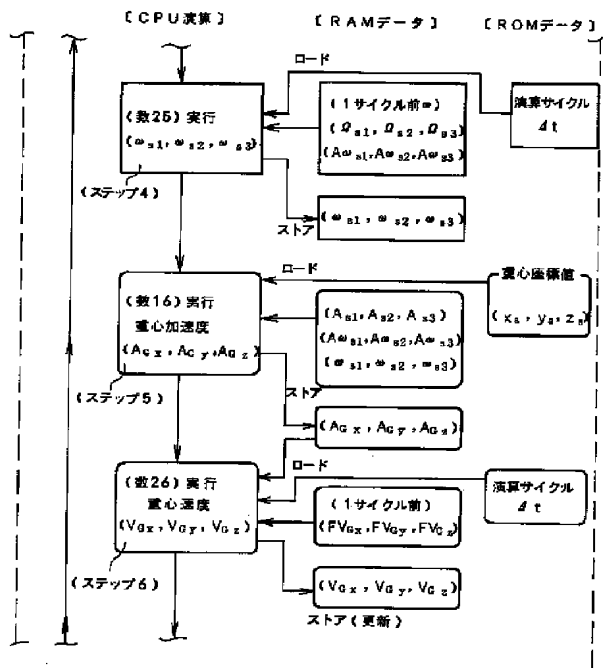
【図10】

図10



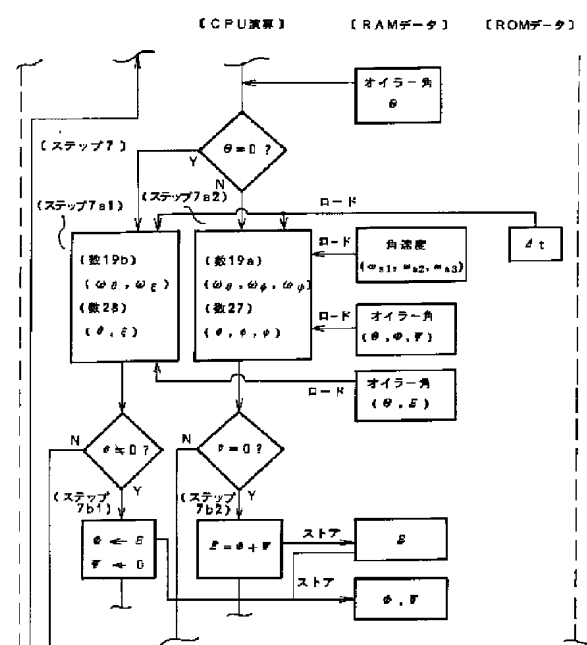
【図11】

図 11



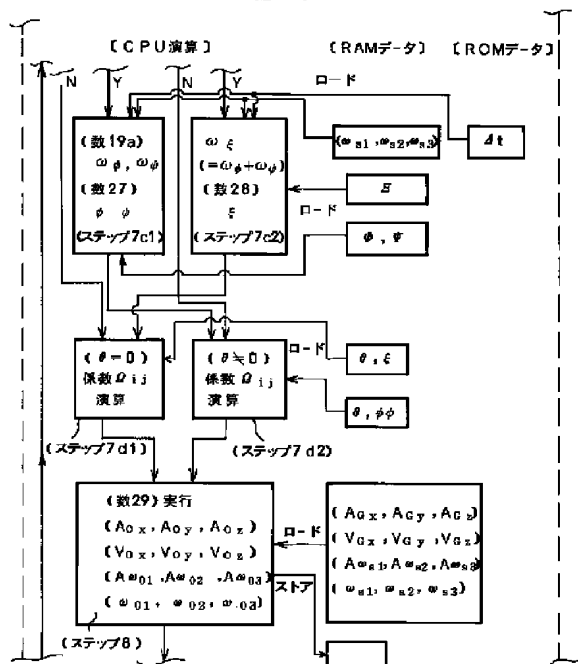
【図12】

図 12



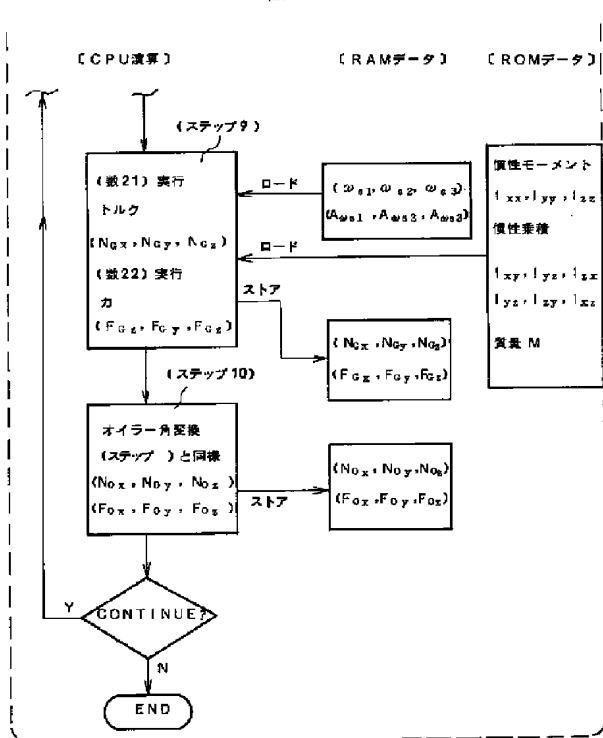
【図13】

図 13



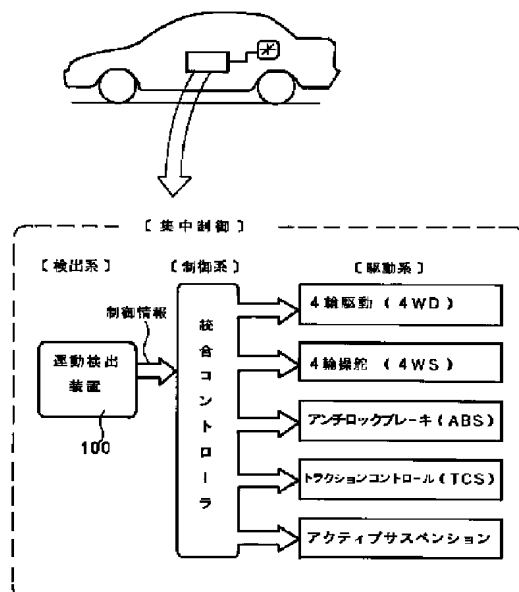
【図14】

図 14



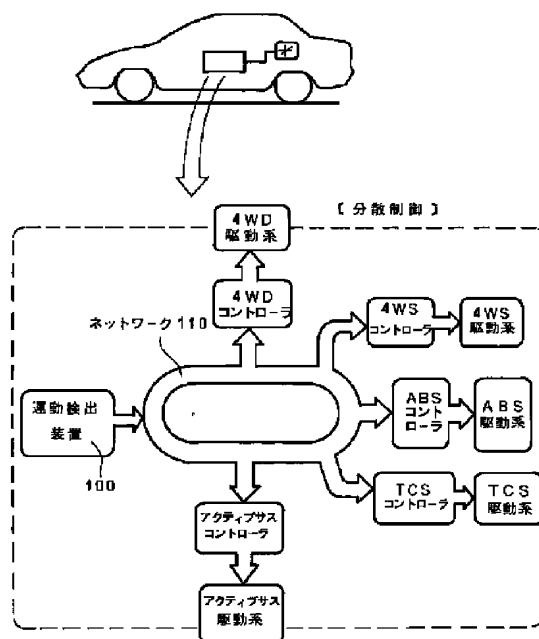
【図15】

図 15



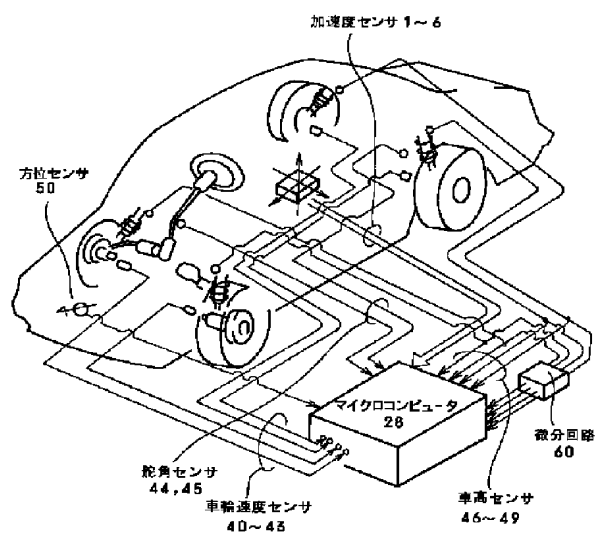
【図16】

図 16



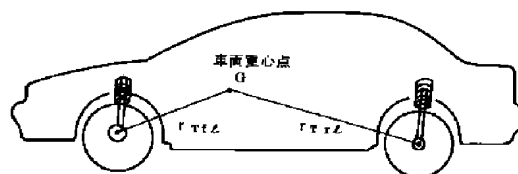
【図17】

図 17



【図18】

図 18



$$\text{前左輪 } r_{Tfl} = (x_{Tfl}, y_{Tfl}, z_{Tfl} - h_{fl})$$

$$\text{後左輪 } r_{Trl} = (x_{Trl}, y_{Trl}, z_{Trl} - h_{rl})$$

$$V_{Tfl} = (V_{Txfl}, V_{Tyfl}, V_{Tzfl} - \frac{dh_{fl}}{dt})$$

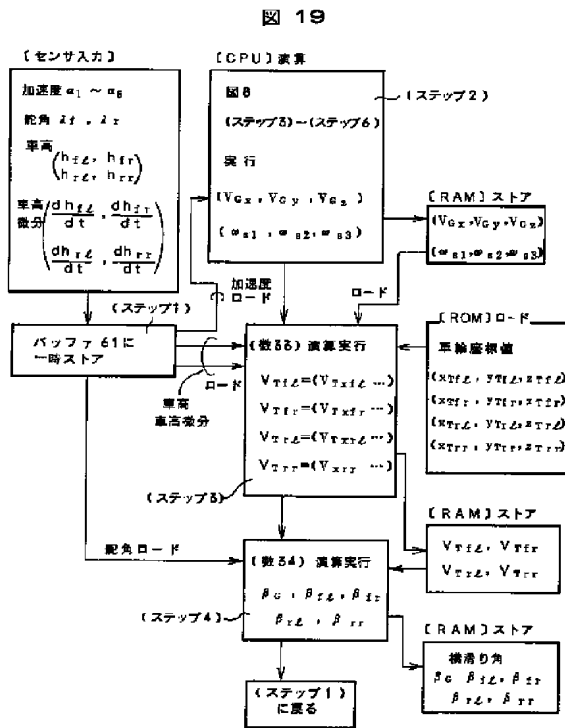
$$V_{Trl} = (V_{Txrl}, V_{Tyrl}, V_{Tzrl} - \frac{dh_{rl}}{dt})$$

$$h_{fl}, h_{rl} \frac{dh_{fl}}{dt} \frac{dh_{rl}}{dt} \dots \text{車高センサ測定値}$$

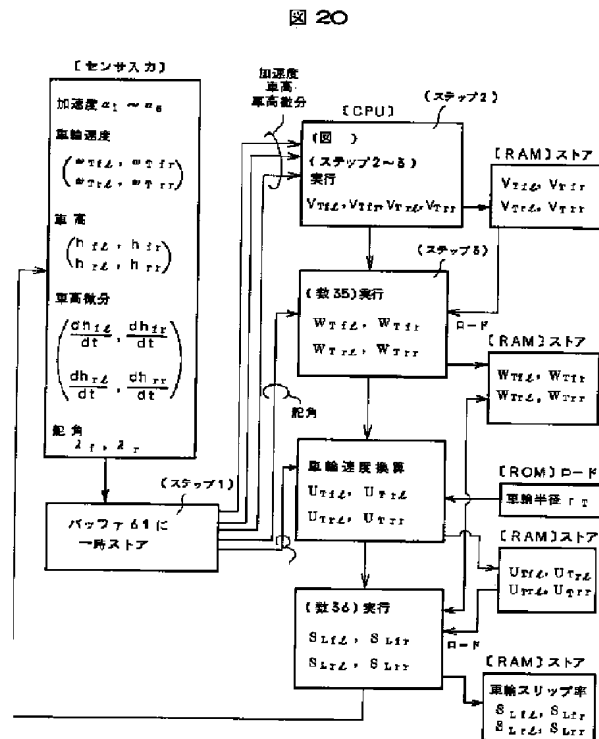
$$\left. \begin{array}{l} (x_{Tfl}, y_{Tfl}, z_{Tfl}) \\ (x_{Trl}, y_{Trl}, z_{Trl}) \end{array} \right\} \text{初期設定}$$

前右輪 (r_{Tfr})、後右輪 (r_{Trr}) も同様

【図19】



【図20】



【図21】

図 21

